

PENGARUH ARAH SERAT GELAS DAN BAHAN MATRIKS TERHADAP KEKUATAN KOMPOSIT AIRFOIL PROFILE FAN BLADES

Carli^{*1)}, S. A. Widyanto²⁾, Ismoyo Haryanto²⁾

¹⁾Jurusan Teknik mesin, Politeknik Negeri Semarang
Jln. Prof. Sudarto S.H. Tembalang, Semarang 50061

²⁾Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro, Semarang
Jln. Prof. Sudarto S.H. Tembalang, Semarang 50275

^{*}E-mail: carliebandung@yahoo.com

Abstrak

Penelitian ini membahas tentang analisis pengaruh arah serat gelas dan bahan matriks terhadap kekuatan mekanik pada komposit airfoil profile fan blade. Spesimen penelitian menggunakan serat gelas / epoxy dan serat gelas / polyester. Serat gelas yang digunakan jenis woven Roving, dengan jumlah lapisan serat sebanyak 6 lembar, arah serat $0/90^\circ$ dan $\pm 45^\circ$ dan fraksi volume serat masing-masing 20%. Serat gelas dipilih karena memiliki kekuatan, kekakuan, ringan, tahan terhadap korosi, serta tahan temperatur tinggi sehingga cocok untuk pembuatan elemen mesin seperti dalam pembuatan automobile, pesawat terbang maupun maritim. Pemilihan metode dalam pembuatan sampel airfoil profile fan blade adalah dengan metode Hand Lay-Up, metode ini merupakan metode yang paling sederhana dan tidak memerlukan banyak biaya. Alat untuk menguji spesimen adalah mesin uji bending, dengan standar uji ASTM D 6272, dengan metode Four-Point Bending, sedangkan untuk uji tarik menggunakan mesin uji tarik (selvopulser) dengan standar uji ASTM D 3039. Hasil pengujian tarik dan bending menunjukkan bahwa airfoil profile fan blade dengan bahan serat gelas / epoxy tegangan tarik maksimum dan tegangan bending lebih tinggi bila dibandingkan dengan komposit serat gelas / polyester. Sedangkan untuk arah serat menunjukkan bahwa komposit serat gelas dengan orientasi serat $0/90^\circ$ memiliki kekuatan tarik maksimum dan Modulus Elastisitas lebih tinggi bila dibandingkan dengan orientasi serat $\pm 45^\circ$. sebaliknya dilihat dari kelenturannya komposit orientasi serat $\pm 45^\circ$ nilai defleksinya lebih tinggi (lebih lentur).

Kata kunci: Komposit, metode Hand Lay-Up, serat gelas / epoxy, serat gelas / polyester

PENDAHULUAN

Propeller banyak digunakan dalam industri penerbangan, maritim, dan mesin energi, seperti pembuatan pesawat terbang, kapal laut, *hovercraft*, dan berbagai jenis turbin. *Propeller* bersama komponen lain seperti *hub*, poros, bantalan, pengatur sudut *pitch propeller*, dan sumber tenaga, membentuk satu sistem kecil yakni sistem penggerak *propeller*, yang merupakan bagian dari sistem yang lebih besar. *Propeller* yang sering digunakan adalah jenis sentrifugal fan. Disebut sentrifugal fan karena fan jenis ini mengalirkan udara dari daerah masukan (*inlet*) menuju daerah keluaran (*outlet*) dengan arah radial karena gaya sentrifugal yang ditimbulkan oleh putaran impeller, selanjutnya udara yang secara radial telempar keluar dari impeller dengan kecepatan dan tekanan yang tinggi. Salah satu komponen utama yang sering mengalami kerusakan (patah) pada *Propeller* adalah *fan blades* (baling-baling), sehingga perlu dikembangkan alternatif bahan pembuat *fan blades* yang lebih baik. Pada penerapannya, untuk memperoleh efisiensi yang tinggi, *fan blades* harus memiliki karakteristik tertentu, seperti ringan, kaku, kuat, dan tidak mudah terpengaruh oleh lingkungan (seperti korosi). Karena itu material untuk pembuatan *fan blades* ini harus dipilih secara tepat.

Perkembangan teknologi material telah melahirkan suatu material jenis baru yang dibangun secara bertumpuk dari beberapa lapisan. Material inilah yang disebut material komposit. Material komposit terdiri dari lebih dari satu tipe material dan dirancang untuk mendapatkan kombinasi karakteristik terbaik dari setiap komponen penyusunnya. Pada dasarnya, komposit dapat didefinisikan sebagai campuran makroskopik dari serat dan matriks. Serat merupakan material yang umumnya jauh lebih kuat dari matriks dan berfungsi memberikan kekuatan tarik, sedangkan matriks berfungsi untuk melindungi serat dari efek lingkungan dan kerusakan akibat benturan. Dibanding dengan material konvensional keunggulan komposit antara lain yaitu memiliki kekuatan

yang dapat diatur (*tailorability*), tahanan lelah (*fatigue resistance*) yang baik, tahan korosi, dan memiliki kekuatan jenis (rasio kekuatan terhadap berat jenis) yang tinggi. Manfaat utama dari penggunaan komposit adalah mendapatkan kombinasi sifat kekuatan serta kekakuan tinggi dan berat jenis yang ringan. Dengan memilih kombinasi material serat dan matriks yang tepat, dapat dibuat suatu material komposit dengan sifat yang tepat sama dengan kebutuhan sifat untuk suatu struktur tertentu dan tujuan tertentu pula.

Multi-Wing America's telah populer dengan fan axialnya dengan berbagai tipe, salah satunya adalah tipe *air foil* yang digunakan untuk hovercraft berbahan termoplastik (*glass reinforced polypropylene*) seperti pada gambar dibawah ini.



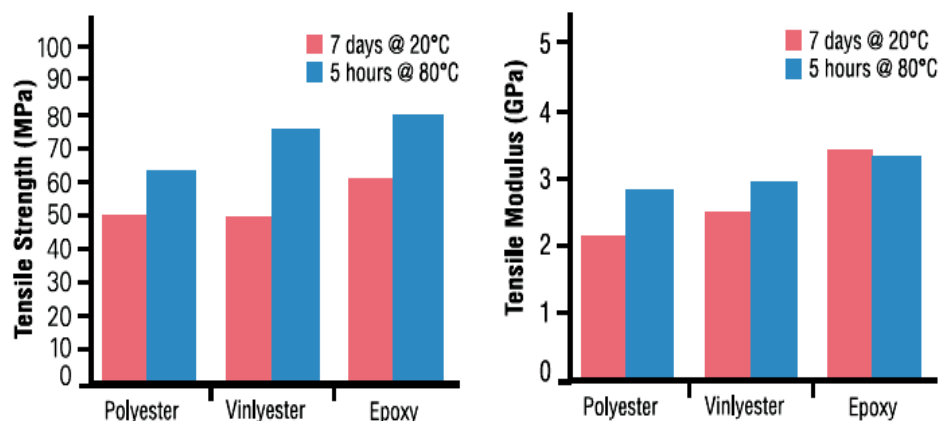
<i>Tensile strength:</i>	85 MPa
<i>Izod impact strength notched (at 73°F):</i>	10.0 kJ/m ²
<i>Izod impact strength notched (at 32°F):</i>	8.5 kJ/m ²
<i>Izod impact strength notched (at -40°F):</i>	7.0 kJ/m ²
<i>Flexural modulus:</i>	6.0 GPa

Gambar 1. Jenis *Fan Blade* model *airfoil* dari *Multi-Wing*.

Dalam penelitian ini akan dibuat spesimen *fan blades* (baling-baling) untuk hovercraft dengan mengambil model *fan blades* dari *Multi-Wing* jenis *air foil* menggunakan bahan komposit dengan pengikat (matriks) *thermosetting* jenis resin *epoxy* dan *polyester*, bahan tersebut dipakai karena mempunyai ketahanan bahan kimia yang sangat baik dan mempunyai kekuatan yang sangat tinggi, sedangkan bahan pengisinya (*filler*) menggunakan serat gelas dikarenakan bahan tersebut mempunyai kekuatan yang tinggi dan mempunyai ketahanan yang baik terhadap bahan kimia dan panas.

Sifat-sifat fisik dan mekanik

Pada umumnya pemilihan bahan matriks dan serat memainkan peranan penting dalam menentukan sifat-sifat mekanik komposit. Gabungan matriks dan serat dapat menghasilkan komposit yang mempunyai kekuatan dan kekakuan yang lebih tinggi dari bahan konvensional. Dua sifat mekanik penting dari tiap sistem resin adalah kekuatan tarik dan kekakuan. (Gambar 1.2) menunjukkan hasil tes yang dilakukan pada *polyester* komersial, *vinylester* dan *epoxy* pada pengerasan 20 ° C dan 80 ° C. Setelah periode pengerasan selama tujuh hari pada suhu kamar dapat dilihat bahwa *epoxy* akan memiliki sifat yang lebih tinggi dari *polyester* dan *vinylester* untuk kekuatan dan kekakuan.



Gambar 2. Perbandingan kekuatan tarik dan modulus dari resin (www.gurit.com, diakses 2011).

Unsur – Unsur Penyusun Komposit

Unsur – unsur utama penyusun komposit adalah matrik dan serat. Bahan – bahan pendukung pembuatan komposit meliputi katalis, akselerator, *gelcoat*, dan pewarna. Bahan

tambahan tersebut memiliki fungsi yang sangat penting untuk menentukan kualitas suatu produk komposit. Karena material komposit terdiri dari penggabungan unsur – unsur utama yang berbeda, maka munculah daerah perbatasan antara serat dan matrik (Santoso, 2002).

a. Serat Gelas

Serat gelas mempunyai karakteristik yang berbeda-beda. Pada penggunaannya, serat gelas disesuaikan dengan sifat/karakteristik yang dimilikinya. Serat gelas terbuat dari *silica, alumina, lime, magnesia* dan lain-lain. Karena biaya produksi rendah dan proses produksi sangat sederhana, memberikan serat gelas unggul dalam ratio (perbandingan) harga dan *performance*. Serat gelas banyak digunakan di industri-industri otomotif seperti pada panel panel body kendaraan, bahkan sepeda motor sekarang seluruh body terbuat dari komposit yang berpenguat serat gelas.

b. Bahan Matriks

Menurut Gibson (1994), bahwa matriks dalam struktur komposit dapat berasal dari bahan polimer, logam, maupun keramik. Matriks adalah fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar (dominan).

Syarat utama yang harus dimiliki oleh bahan matriks adalah bahan matriks tersebut harus dapat meneruskan beban, sehingga serat harus bisa melekat pada matriks dan kompatibel antara serat dan matriks. Umumnya matriks yang dipilih adalah matriks yang memiliki ketahanan panas yang tinggi. Sebagai bahan penyusun utama dari komposit, matriks harus mengikat penguat (serat) secara optimal agar beban yang diterima dapat diteruskan oleh serat secara maksimal sehingga diperoleh kekuatan yang tinggi.

Kekuatan Tarik Komposit

Salah satu pengujian tegangan dan regangan (*stress strain test*) adalah pengujian tarik (*tension test*). Dari pengujian ini dapat kita ketahui beberapa sifat mekanik material yang sangat dibutuhkan dalam desain rekayasa. Hasil dan pengujian ini adalah grafik beban versus perpanjangan (*elongation*). Beban dan *elongation* dapat dirumuskan sebagai berikut :

Engineering Stress (σ)

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \dots\dots\dots (1)$$

dimana:

F = Beban yang diberikan dalam arah tegak lurus terhadap penampang spesimen (N)

A_0 = Luas penampang mula-mula spesimen sebelum diberikan pembebanan (m^2)

σ = Engineering Stress (Mpa)

Engineering Strain (ϵ)

$$\epsilon = \frac{l_1 - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \dots\dots\dots (2)$$

dimana :

ϵ = Engineering Strain

l_0 = Panjang mula-mula spesimen sebelum diberikan pembebanan

Δl = Pertambahan panjang

Metoda pengujian dilakukan dengan pengujian tarik terhadap sampel komposit dengan menggunakan standar pengujian ASTM D 3039.

Kekuatan Bending (Flexural Strength)

Untuk mengetahui kekuatan *bending* suatu material dapat dilakukan dengan pengujian *bending* terhadap material komposit tersebut. Kekuatan *bending* atau kekuatan lengkung adalah tegangan *bending* terbesar yang dapat diterima akibat pembebanan luar tanpa mengalami deformasi yang besar atau kegagalan. Besar kekuatan *bending* tergantung pada jenis material dan pembebanan. Akibat pengujian *bending*, bagian atas spesimen mengalami tekanan, sedangkan bagian bawah akan mengalami tegangan tarik. Dalam material komposit kekuatannya lebih tinggi dari pada kekuatan tariknya. Karena tidak mampu menahan tegangan tarik yang diterima, spesimen tersebut akan patah, hal tersebut mengakibatkan kegagalan pada pengujian komposit. Kekuatan bending pada sisi bagian atas sama nilai dengan kekuatan bending pada sisi bagian bawah. Pengujian dilakukan dengan metoda *four point bending* dengan standard ASTM D 6272.

Pada perhitungan kekuatan *bending* ini, digunakan persamaan :

$$\sigma = \frac{3FL}{4bd^2} \dots\dots\dots(3)$$

dimana :

σ = Tegangan *bending* (MPa)

F = Beban /Load (N)

L = Panjang Span / *Support span*(mm)

b = Lebar/ *Width* (mm)

d = Tebal / *Depth* (mm)

Sedangkan untuk mencari modulus elastisitas *bending* menggunakan rumus

$$E = \frac{11 FL^3}{32 bh^3 \delta} \dots\dots\dots(4)$$

dimana :

E = Modulus Elastisitas *Bending* (MPa)

F = Beban /Load (N)

L = Panjang Span / *Support span*(mm)

b = Lebar/ *Width* (mm)

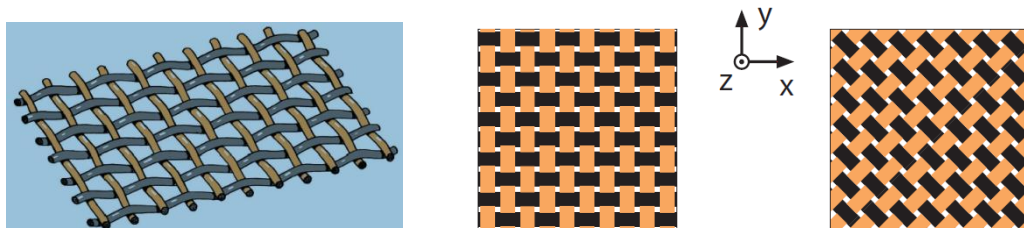
d = Tebal / *Depth* (mm)

δ = Defleksi (mm)

METODOLOGI PENELITIAN

a. Bahan penelitian

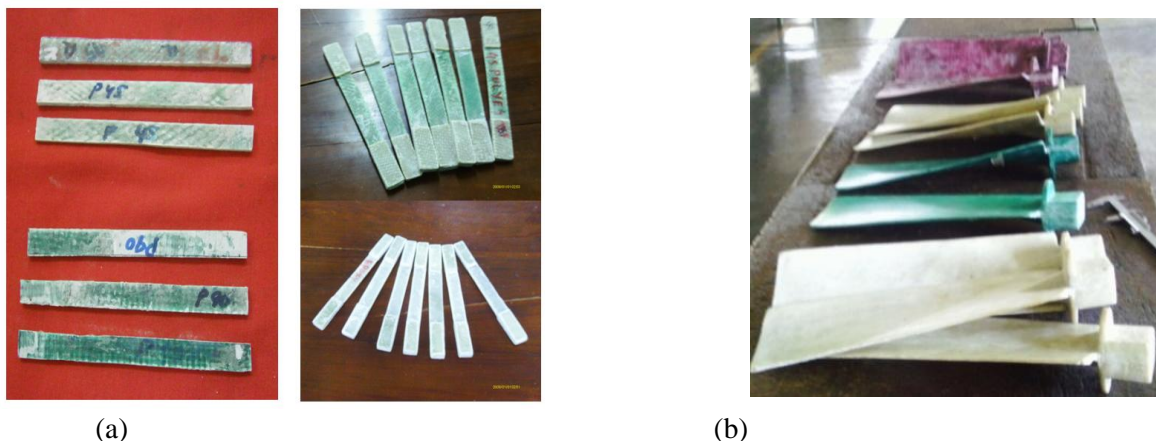
Bahan dasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Fiberglass* jenis E- Glass (*Woven roving*), untuk matriks nya menggunakan *Epoxy* dan *Polyester*.



Gambar 3. Susunan Serat gelas *Woven Roving* dengan orientasi serat 0/90° dan ±45°

b. Prosedur Penelitian

Sebelum melakukan pengujian tarik dan *bending* terlebih dahulu dibuat spesimen *fan blades* (baling-baling) dan spesimen uji tarik dan *bending* yang dibuat dalam bentuk pelat komposit yang diproduksi dengan metode *hand lay-up*, dibuat dalam enam lapisan serat gelas jenis *Woven Roving* (WR). Geometri dan dimensi spesimen uji tarik dan *bending* disesuaikan dengan standard ASTM D 3039 dan standar ASTM D 6272 (*four point bending*).



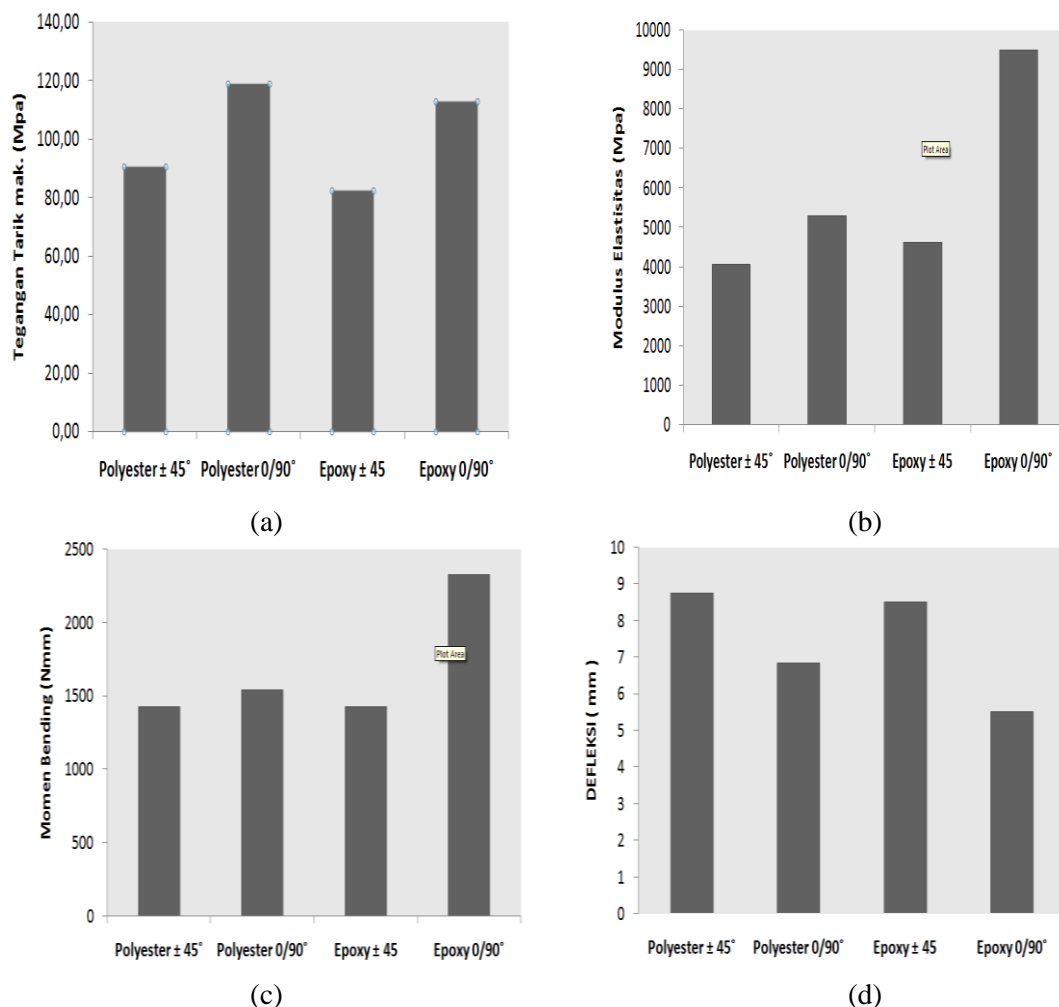
Gambar 4. Spesimen uji *bending* dan uji tarik (a), spesimen *fan blades* (baling-baling) (b)

Pengukuran tegangan tarik spesimen didasarkan pada teori Hukum Hooke (*Hooke Law*). Teori menyatakan bahwa suatu bahan berkelakuan secara elastis dan memperlihatkan suatu hubungan linier antara tegangan regangan yang disebut elastis secara linier. Variabel yang akan diamati dalam penelitian ini yaitu beban atau gaya tarik sehingga mendapatkan nilai tegangan tarik maksimumnya, pertambahan panjang yang menunjukkan regangan yang terjadi. Pada pengujian *bending* dilakukan dengan metoda *four point bending* standard ASTM D 6272, variabel yang akan diamati dalam penelitian ini yaitu beban yang diberikan dan defleksi yang terjadi pada setiap pembebanan sampai batas maksimum (spesimen rusak).

Metode pengolahan data pengujian dilakukan dengan analisis statistik pada Ms. Excel dan perhitungan analitis matematis yang menerapkan teori Hukum Hooke. Data yang diperoleh berupa grafik beban (gaya) dikembangkan secara perhitungan sehingga mendapatkan nilai tegangan tarik, regangan dan modulus Elastisitas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji tarik dan bending untuk komposit dengan matriks *polyester* dan *Epoxy* ditunjukkan pada grafik dibawah ini :



Gambar 5. Diagram pengaruh orientasi serat dan bahan matriks terhadap kekuatan mekanik : Tegangan tarik maksimum (a), Modulus Elastisitas (b), Momen *Bending* (c) dan Defleksi (d).

Dari Hasil diatas tegangan tarik maksimum, tegangan *bending* maksimum dan Modulus Elastisitasnya komposit dengan orientasi serat 0/90° lebih tinggi bila dibandingkan dengan komposit dengan orientasi serat $\pm 45^\circ$, sebaliknya untuk kelenturan, komposit dengan orientasi serat $\pm 45^\circ$ lebih lentur dibandingkan dengan komposit orientasi serat 0/90°.

Tegangan *bending* maksimum komposit dengan matriks *epoxy* lebih tinggi bila dibandingkan dengan komposit dengan matriks *polyester*, sebaliknya untuk kelenturan komposit dengan matriks *polyester* lebih lentur dibandingkan dengan komposit matriks *epoxy*. Dari Modulus Elastisitasnya komposit dengan matriks *epoxy* lebih tinggi bila dibandingkan komposit dengan matriks *polyester*.

KESIMPULAN

Dari hasil hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa :

1. Dari hasil uji kekuatan tarik diperoleh kekuatan tarik dan modulus elastisitas terbesar terdapat pada komposit dengan orientasi serat 0/90° .
2. Dari hasil uji kekuatan *bending* diperoleh kekuatan bending dan momen bending terbesar terdapat pada komposit dengan orientasi serat 0/90°
3. Defleksi terbesar terjadi pada serat dengan orientasi serat $\pm 45^\circ$
4. Karakteristik *Flexural Strength* matriks *epoxy* lebih baik dari matriks *polyester*.
5. Karakteristik *Tensile Strength* matriks *epoxy* lebih baik dari matriks *polyester*
6. Bila dibandingkan dengan produk dari *Multi Wing* , hasil percobaan ini menunjukkan bahwa bahan matriks *epoxy* dan *polyester* mempunyai *tensile strength* dan *flexural modulus* lebih tinggi terutama pada orientasi serat 0/90°.

DAFTAR PUSTAKA

- Annual Book of ASTM Standards, D 3379- 75, “*Standard Test Method for Tensile Strength and Young’s Modulus Single-Filament Materials*”, ASTM Standards and Literature References for Composite Materials, 2nd ed., 34-37, American Society for Testing and Material, Philadelphia, PA (1990).
- Berthelot J.M.,1999, “*Composite Material : Mechanical Behavior and Structural Analysis*”, Springer, New York
- Gibson, F.R., 1994, “*Principles of Composite material Mechanis*”, *International Edition*”, McGraw-Hill Inc, New York.
- Kroschwitz, J. I., Grestle, F. P., 1987, Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, 2nd ed., John Wiley and Sons Inc., New York.
- Munasir, 2011. “Studi Pengaruh Orientasi Serat Fiber Glass Searah Dan Dua Arah Single Layer Terhadap Kekuatan Tarik Bahan Komposit Polypropylen” Vol I No. 1 Surabaya.
- www.gurit.com ,diakses 2011.